

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva

**Hodnotenie rizík prepravy nebezpečných látok
na vybranom úseku železnice**

Študent : Peter Bartoš

Vedúci diplomovej práce: doc. Dr. Ing. Aleš Bernatík

Študijný odbor : Technika požární ochrany a bezpečnost průmyslu

Termín odovzdania diplomovej práce: 30. 4. 2008



Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta bezpečnostního inženýrství
Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva

Zadanie diplomovej práce

Študent: Peter Bartoš
Študijný program: M3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost
Študijný odbor: 3908T006 Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Vedoucí katedry Vám v souladu se Statutem Fakulty bezpečnostního inženýrství
- studijním a zkušebním řádem pro studium v magisterských a bakalářských studijních
programech určuje tuto diplomovou práci:

Názov témy: **Hodnotenie rizík prepravy nebezpečných látok na vybranom úseku
železnice**
**Risk Assessment of Hazardous Substances Transport in Selected
Rail Section**

Cieľ práce:

Hodnotenie rizík pre okolité obyvateľstvo vyplývajúcich z prepravy vybraných nebezpečných
látok v železničných cisternách na zvolenom úseku železničnej trate.

Charakteristika práce:

- Problematika prepravy nebezpečných látok na železnici
- Výber vhodnej metódy pre vypracovanie hodnotenia rizík
- Rozbor prepravy nebezpečných látok na vybranom úseku trasy
- Prípadová štúdia hodnotenia prepravy vybranej nebezpečnej látky

Základné literárne pramene:

- Bernatík A.: Prevence závažných havárií I a II, Ostrava, SPBI, 2006
- Bartlová I., Pešák M.: Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií II : analýza rizik
a připravenost na průmyslové havárie, Ostrava, SPBI, 2003
- Tixier J., Dusserre G., Salvi O., Gaston D.: Review of 62 risk analysis methodologies of
industrial plants, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 15, Elsevier 2002
- Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the context of the SEVESO II
directive, Project under the 5th framework programme, Number: EVG1- CT-2001-00036
- Guideline for quantitative risk assessment " Purple book" CPR18E

Vedúci diplomovej práce: doc. Dr. Ing. Aleš Bernatík

Termín odovzdania diplomovej práce: 30. apríla 2008

V Ostrave, 17.10.2007

Ing. Isabela Bradáčová, CSc.
vedúci katedry

Dovoľujem si úprimne poďakovať pánovi doc. Dr. Ing. Alešovi Bernatíkovi za odborné vedenie, ochotnú a všestrannú pomoc pri realizácii diplomovej práce.

Miestoprísazne prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracoval samostatne.

V Košiciach 11.4.2008

Peter Bartoš

Anotácia

BARTOŠ, P. *Hodnotenie rizík prepravy nebezpečných látok na vybranom úseku železnice*. Ostrava, 2008. Diplomová práca na FBI VŠB TU Ostrava, vedúci diplomovej práce Dr. Ing. Aleš Bernatík

Kľúčové slová: ARAMIS, QRA, ALOHA, nebezpečné látky, nákladná preprava, závažné havárie

Táto diplomová práca rozoberá problematiku prepravy nebezpečných látok na úseku železničnej trate Košice – Sabinov. Stanovuje frekvenciu havárie na danom úseku, bližšie analyzuje haváriu cisterien s amoniakom a acetónom na vytypovaných miestach a jej dopad na obyvateľstvo.

The annotation

BARTOŠ, P. *Risk assessment of hazardous substances transport in selected rail section*. Ostrava, 2008. Dissertation at FBI VŠB TU Ostrava, Dissertation leader Dr. Ing. Aleš Bernatík

Key words: ARAMIS, QRA, ALOHA, hazardous substances, freight transport, serious accidents

This dissertation describes transport of hazardous substances in rail section Košice – Sabinov. Set frequency of accident in selected rail section, closely analyses accident of tanks with ammonia and acetone at selected places and its impact on population.

OBSAH

1. Úvod.....	8
2. Legislatívny rámec.....	9
3. Stručný popis železníc SR z hľadiska prepravy nebezpečných látok.....	9
3.1. Železnice SR	9
3.2. Základné typy nákladných vozňov	10
3.3. Katalóg nákladných vozňov.....	11
3.3.1. Medzinárodné označovanie nákladných vozňov.....	11
3.3.2. Číselné označenie nákladných vozňov.....	11
3.3.3. Identifikácia interoperability.....	12
3.3.4. Kontrolná číslica.....	12
3.3.5. Písmenové označenie nákladných vozňov.....	13
4. Štatistika havárií na železnici v SR.....	14
4.1. Prehľad ekologických havárií v roku 2006.....	14
5. Vyhodnotenie vybraných závažných havárií na železniciach.....	16
5.1. Vykolaženie nákladného vlaku 292 – 16 Kanadskej pacifickej železnice a následný únik amoniaku pri meste Minot, Severná Dakota (18. Január 2002).....	16
5.1.1. Popis havárie.....	16
5.1.2. Ošetrovanie prírody.....	17
5.2. Vykolaženie nákladného vlaku M304-41-21 spoločnosti Canadian National a následný únik bezvodého amoniaku a LPG pri meste Britt, Ontario.....	18
5.2.1. Popis havárie.....	18
6. Analýza rizika prepravy na vybranom úseku železnice.....	20
6.1. Popis vybraného úseku trate.....	20
6.2. Výber závažných úsekov trasy podľa [3].....	21
6.3. Medzné hodnoty pre železnice podľa [3]	23
6.4. Individuálne riziko.....	23
6.5. Spoločenské riziko.....	24
6.6. Analýza rizika pri preprave nebezpečných látok v cisternách po železnici, únik nebezpečných látok (LOC) na trati Košice – Sabinov.....	26
6.7. Frekvencia havárií a úniku nebezpečnej látky po železnici.....	26
6.8. Stanovenie frekvencie havárie cisterny s amoniakom a acetónom v Košiciach a v Prešove.....	27

6.9. Bližší popis látok – amoniak bezvodý a acetón.....	28
7. Hodnotenie rizík pomocou metodiky ARAMIS.....	32
7.1. Popis metodiky ARAMIS.....	32
7.2. MIMAH krok 3 : Výber významných zdrojov rizík.....	32
7.3. MIMAH krok 4: Priradenie kritickej udalosti.....	36
7.4. MIMAH krok 5: Zostavenie stromu porúch pre každú kritickú udalosť.....	37
7.5. MIMAH krok 6: Zostavenie stromu udalostí pre každú kritickú udalosť.....	38
7.6. MIMAH krok 7: Zostavenie bow-tie diagramu pre každú kritickú udalosť.....	40
7.7. MIRAS krok 6: Vyhodnotenie tried následkov nebezpečných prejavov.....	40
7.8 MIRAS krok 7: Výber referenčného havarijného scenária.....	41
8. ALOHA.....	42
8.1. Popis programu ALOHA.....	42
8.2. Veterné pomery v oblasti Košice, Prešov.....	43
8.3. ALOHA - únik amoniaku pri teplote 20°C.....	43
8.4. ALOHA - únik amoniaku pri teplote -3°C.....	44
8.5. ALOHA - únik acetónu pri teplote 20°C a pri teplote -3°C.....	45
9. Záver.....	47
Zoznam použitej literatúry.....	48
Prílohy.....	49

1. Úvod

Bezpečnosť prepravy na železnici sa riadi pravidlami uvedenými v RID (Poriadok pre medzinárodnú železničnú prepravu nebezpečného tovaru). RID určuje nebezpečný tovar, ktorého medzinárodná preprava je vylúčená a nebezpečného tovaru, ktorého medzinárodná preprava je prípustná a stanovuje podmienky jeho prepravy.

Touto diplomovou prácou sa budeme snažiť o hodnotenie rizík so zameraním sa na obyvateľov žijúcich v okolí zvoleného úseku trate (Košice – Sabinov). Výber závažných úsekov trasy bude vykonaný metodikou QRA (Quantitative Risk Assessment CPR 18E „Purple book“). Porovnaním frekvencie ročných dopravných tokov s medznými hodnotami vyhodnotíme či preprava na tomto úseku vyhovuje bezpečnostným požiadavkám. Posúdime či bude prekročené inividuálne riziko a spoločenské riziko. Bude stanovená všeobecná frekvencia havárie (cisterna / rok) na danom úseku. Na dvoch vytipovaných miestach vyhodnotíme metodikou QRA pravdepodobnosť LOCs (strata obsahu), výtok z diery v cisterne > 100 kg pre atmosférickú a pretlakovú cisternu.

Pomocou metodiky ARAMIS bude po výbere významných zdrojov rizík vytvorený bow – tie pre jednu látku prevážanú v pretlakovej cisterne a jednu v atmosférickej cisterne. Tieto bow – ties nám udajú pravdepodobné príčiny vedúce ku kritickej udalosti a následne pravdepodobný priebeh kritickej udalosti. Na konci práce bude vytvorená mapa v programe ALOHA pre dve vybrané miesta so zakreslením zón šírenia nebezpečnej látky. Tento program nám zobrazí stopu oblaku o zadanej koncentrácii, dávku a výdatnosť zdroja. Z jednotlivých metodík využijeme len vyselektované kroky, ktoré budú vhodné k dosiahnutiu našich cieľov.

Cieľom tejto práce je hodnotenie rizík pre okolité obyvateľstvo vyplývajúcich z prepravy vybraných nebezpečných látok v železničných cisternách na zvolenom úseku železničnej trate.

2. Legislatívny rámec

Problematikou prepravy na železničiach sa zaoberajú dokumenty ako COTIF (Dohoda o medzinárodnej preprave) , ktorej cieľom je stanoviť uniformný systém práva aplikovateľného na prepravu pasažierov, batožín a tovarov v medzinárodnej železničnej preprave medzi členskými štátmi, RID (Poriadok pre medzinárodnú železničnú prepravu nebezpečného tovaru) , ktorý určuje nebezpečný tovar, ktorého medzinárodná preprava je vylúčená a nebezpečného tovaru, ktorého medzinárodná preprava je prípustná a stanovuje podmienky jeho prepravy a Vyhláška č. 489/2002 Ministerstva životného prostredia SR ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o prevencii závažných priemyselných havárií.

3. Stručný popis železníc SR z hľadiska prepravy nebezpečných látok

3.1. Železnice SR

Železnice Slovenskej republiky (ŽSR) vznikli 1. januára 1993 rozhodnutím vlády Slovenskej republiky o zriadení štátneho podniku Železnice Slovenskej republiky a neskôr zákonom Národnej rady Slovenskej republiky z 30. septembra 1993. Stalo sa tak po rozdelení federatívneho Česko-Slovenska a tým aj rozdelení Česko-slovenských štátnych dráh na dve železnice. ŽSR majú 3665 km železničných tratí, z toho 2484 km je jednokoľajných a 1023 km dvojkolajných tratí, 52 km úzkorozchodných a 106 km širokorozchodných, na ktorých je 10 149 výhybiek. V sieti ŽSR bolo elektrifikovaných dovedna 1472 km tratí, z toho 735 km jednosmernou trakčnou sústavou 3 kV a 707 km striedavou trakčnou sústavou 25 kV/50 Hz.

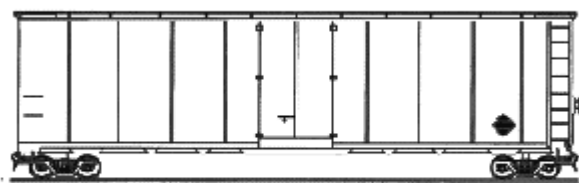
Najvyššie položená železničná stanica Štrbské Pleso vo Vysokých Tatrách je vo výške 1320 m n.m. Najnižšie položená železničná stanica Streda nad Bodrogom na východnom Slovensku je vo výške 101 m n. m. Slovenskú krajinu charakterizujú horské členité územia, ktoré sú veľmi náročné na výstavbu tratí. Stavebnú náročnosť našich tratí charakterizuje napríklad to, že 252 km hlavných koľají je v oblúkoch s polomerom menším ako 300 m a 814 km hlavných koľají je v sklone väčšom ako 10 promile. Na našich tratiach máme spolu 2361 mostov v dĺžke vyše 47 km a 76 tunelov v dĺžke vyše 43 km.

Na východnom Slovensku pri hranici s Ukrajinou sa na prechod z normálneho na široký rozchod vybudovali veľké a technologicky dobre vybavené prekladiská, a to v Čiernej nad Tisou, Dobrej a Maťovciach. Pre zvýšenie prepravných výkonov v nákladnej doprave z Ukrajiny do Košíc na východnom Slovensku slúži širokorozchodná trať s rozchodom 1524 mm. [10]

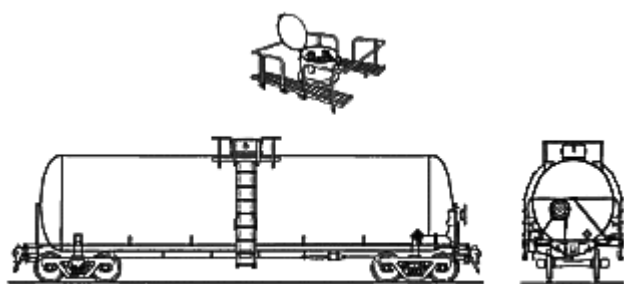
3.2. Základné typy nákladných vozňov

Medzi základné typy nákladných vozňov, ktorými disponuje najväčší nákladný prepravca na Slovensku CARGO Slovakia a.s. patria vozeň pre náklad s obalmi (obr. č. 1) , tlaková cisterna na stlačené kvapalné plyny (obr. č. 2) , nízkotlaková cisterna s kvapalinou (obr. č. 3) , vozeň pre sypký náklad (obr. č. 4). [7]

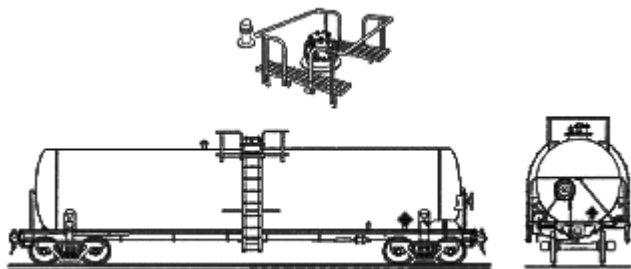
Obrázok č.1 : Vozeň pre náklad s obalmi (zmiešaný)



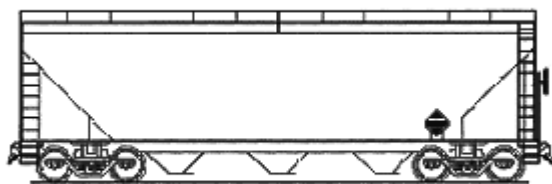
Obrázok č. 2: Tlaková cisterna (stlačené kvapalné plyny)



Obrázok č. 3: Nízkotlaková cisterna s kvapalinou



Obrázok č. 4: Vozeň pre sypký náklad



3.3. Katalóg nákladných vozňov

3.3.1. Medzinárodné označovanie nákladných vozňov

Číselné a písmenové označovanie nákladných vozňov je jednotné pre všetky železnice, ktoré sú členmi UIC a OSŽD a je zostavené so zreteľom na ich prepravné využitie. Pre ľahké a presné identifikovanie sú nákladné vozne označené potrebnými nápismi. Tieto nápisy poskytujú užívateľom informácie o charakteristike vozňa a spôsobe jeho využitia. [15]

3.3.2. Číselné označenie nákladných vozňov

Číselné označenie nákladného vozňa tvorí 12 číslic, ktoré sú usporiadané do 5 skupín:

- 1. a 2. číslica – vyjadruje kód interoperability vozňa, t.j. spôsobilosť vozňa na použitie v medzinárodnej preprave,
- 3. a 4. číslica - udáva kód štátu (krajiny), v ktorom je vozeň zaregistrovaný,
- 5. až 8. číslica – označuje prevádzkovú charakteristiku vozňa - základné a vedľajšie označenie,
- 9. až 11. číslica - udáva poradové číslo v rámci výrobnéj série,

- 12. číslica - kontrolná číslica.

Číselné označenie je teda v nasledujúcej štruktúre: Vlastné číslo vozňa je tvorené 4 číslicami vyjadrujúcimi jeho prevádzkovú charakteristiku a 3-ciferným poradovým číslom. [15]

3.3.3. Identifikácia interoperability

Identifikácia interoperability v medzinárodnej preprave je prvé dvojčíslicie číselného označenia vozňa, ktoré jednoznačne určuje:

- spôsobilosť vozňa pre medzinárodnú prepravu,
- meniteľnosť rozchodu,
- nezávislosť náprav alebo podvozkov.

Detailnejšie informácie sú dostupné na www.uic.asso.fr. Číselné označenie je doplnené písmenovou skratkou vyjadrujúcou spôsobilosť vozňa na použitie v medzinárodnej preprave. [15]

3.3.4. Kontrolná číslica

Kontrolná číslica sa vzťahuje na prvých 11 číslic číselného označenia vozňa, s ktorým tvorí celkové číselné označenie vozňa a je oddelená od ostatných číslic pomlčkou. Slúži na kontrolu správnosti celého číselného označenia vozňa a vypočíta sa nasledujúcim spôsobom (vid'. tabuľka č. 1):

Tabuľka č. 1: Výpočet kontrolnej číslice [15]

Číselné označenie vozňa	3	1	5	6	5	9	6	3	2	1	2	Σ
Číslice na nepárnom mieste sa násobia dvomi	6		10		10		12		4		4	-
Číslice na párnom mieste sa násobia jednotkou		1		6		9		3		1		-
Ciferný súčet jednotlivých číslic výsledku	6	+1	+1+0	+6	+1+0	+9	+1+2	+3	+4	+1	+4	39

Výsledok súčtu (**39**) sa odčíta od najbližšej vyššej desiatky (**40**) a výsledok (**1**) je kontrolnou číslicou. Celé číselné označenie vozňa teda je podľa [15]:

31 56 5963 212 – 1

3.3.5. Písmenové označenie nákladných vozňov

Jednotné písmenové označenie vozňa tvoria:

- veľké písmeno, tzv. základné radové označenie, ktoré charakterizuje druh vozňa. Číselne mu zodpovedá 5. číslica 12-miestneho čísla vozňa (viď. tabuľka č. 2) :

Tabuľka č. 2: Písmenové označenie nákladných vozňov [15]

5. číslica	Písmeno	Význam
1	G	Krytý vozeň bežnej stavby
2	H	Krytý vozeň osobitnej stavby
3	K	plošinový vozeň 2-nápravový bežnej stavby s nízkymi sklopnými stenami a s krátkymi klanicami
3	O	plošinový a otvorený vozeň bežnej stavby s dvomi alebo tromi nápravami so sklopnými nízkymi stenami a klanicami
3	R	plošinový podvozkový vozeň bežnej stavby so sklopnými čelnými stenami a klanicami
4	L	plošinový vozeň s nezávislými nápravami osobitnej stavby
4	S	plošinový podvozkový vozeň osobitnej stavby
5	E	otvorený (vysokostenný) vozeň bežnej stavby s plochou podlahou s možnosťou čelného alebo bočného vyklápania
6	F	otvorený vozeň osobitnej stavby
7	Z	cisternový vozeň
8	I	chladiaci vozeň s regulovanou teplotou
9	U	vozeň špeciálnej stavby nezaraďený do rady F, H, L, S a Z
0	T	vozeň s otvárateľnou strechou

- malé písmená, tzv. vedľajšie písmenové radové označenie, podľa ktorého možno zistiť základné prevádzkové a technické charakteristiky nákladného vozňa z hľadiska jeho použitia.

Pre všetky základné rady platí jednotné označenie:

— s spôsobilý na rýchlosť do 100 km.h⁻¹

— ss spôsobilý na rýchlosť do 120 km.h⁻¹

Význam písmenového označenia vozňov pre jednotlivé rady vozňov je uvedený v záložke jednotlivých radov vozňov. [15]

4. Štatistika havárií na železnici v SR

Na Slovensku v období rokov 2004 – 2006 boli škody spôsobené nehodovými udalosťami v sieti ŽSR vyčíslené na 110,7 mil. Sk. Podrobná štatistika havárií na železnici SR sa nachádza v nasledujúcej tabuľke č. 3.

Tabuľka č. 3: Štatistika havárií na železnici SR v rokoch 2004 - 2006 [16]

	2004	2005	2006
Počet nehodových udalostí v sieti ŽSR	514	604	618
Veľké nehody	96	128	122
Ohrozenie a narušenie prevádzky	387	451	472
Nehody so zodpovednosťou ŽSR	126	131	149
Nehody so zodpovednosťou ŽSSK Cargo	131	116	146
Nehody so zodpovednosťou ZSSK			60
Nehody s cudzím zavinením	251	186	125
Spôsobené škody (mil. Sk)	21,8	36,5	52,4

4.1. Prehľad ekologických havárií v roku 2006

V priebehu roka 2006 boli zaznamenané tieto ekologické havárie s vplyvom na životné prostredie:

9. 1. 2006 v žst. Rožňava následkom technickej poruchy na rušni osobného vlaku došlo k úniku cca 150 litrov motorového oleja do koľajového podlažia v dĺžke 500 metrov,

28. 2. 2006 v žst. Sliač do koľajového podlažia vyteklo cca 60 litrov motorovej nafty z neznámeho vozidla; znečistené podlažie bolo po odkopaní prevezené do spracovateľského závodu odborne spôsobilej firmy na dekontamináciu,

29. 3. 2006 v žst. Belá nad Cirochou následkom zrážky cestného motorového vozidla s osobnou vlakovou súpravou vyteklo do koľajového podlažia bližšie neurčené množstvo ropných látok,

21. 6. 2006 v žst. Poltár po poškodení nádrže hnacieho vozidla následkom vykoľajenia vyteklo do koľajového podlažia cca 150 litrov motorovej nafty; vykoľajenie bolo zapríčinené cudzím telesom na koľajnici,

23. 6. 2006 únik kyseliny dusičnej v žst. Plešivec,

3. 7. 2006 v žst. Banská Bystrica uniklo do podlažia cca 100 litrov motorového oleja po technickej poruche na hnacom vozidle,

4. 8. 2006 uniklo v žst. Diviaky cca 25 litrov motorového oleja z rušňa ZSSK,

19. 10 2006 uniklo do podlažia v úseku trate Jesenské – Slavec nezistené množstvo oleja z hnacieho vozidla.

Všetky vyššie uvedené havarijné udalosti sa riešili v súčinnosti s príslušnými orgánmi štátnej správy. [16]

5. Vyhodnotenie vybraných závažných havárií na železniciach

5.1. Vykolájenie nákladného vlaku 292 – 16 Kanadskej pacifickej železnice a následný únik amoniaku pri meste Minot, Severná Dakota

5.1.1. Popis havárie

18 januára 2002, o 1:37, došlo k vykoľajeniu nákladného vlaku spoločnosti Canadian Pacific Railway (CPR). V rýchlosti 41mph (cca 66 km / h) bolo vykoľajených 31 z 112 cisternových vozňov vo vzdialenosti 0,5 míle (cca 800 m) západne od periferie mesta Minot, North Dakota. 5 cisterien ktoré obsahovali približne 146 700 galónov (542 790 litrov) skvapalneného amoniaku, bolo katastroficky pretrhnutých čím následne odparený mrak pokryl miesto vykoľajenia a okolitý priestor. Mrak dosahoval výšku cca 100 m a postupne sa rozťahol na dĺžku cca 5 km v smere vetra z miesta havárie a ponad obývanú oblasť s 11 600 obyvateľmi. Jedna osoba bola usmrtená, 60 až 65 ľudí z oblasti bezprostredne susediacej s miestom vykoľajenia bolo zachránených. Ako následok havárie, 11 ľudí utrpelo ťažké zranenia a 322 ľudí, vrátane 2 zamestnancov utrpelo ľahké zranenia.

(National Transportation Safety Board) stanovil ako pravdepodobnú príčinu vykoľajenia vlaku 292-16 neefektívnu inšpekciu a údržbu ktorá neidentifikovala a nevymenila prasknuté železné koľajnicové spojky pred tým ako došlo k úplnému porušeniu celistvosti, čo viedlo k zlomeniu koľajnice v spoji. Následkom čoho došlo k závažnej havárii. [12]

Obrázok č. 5: Pohľad na miesto havárie [12]



5.1.2. Ošetrovanie prírody

Od januára 2004, firma CPR vykonala vzhľadom na únik bezvodého amoniaku nasledujúce aktivity na ošetrovanie prírody v hodnote presahujúcej 8,7 mil. dolárov:

- Sústredila cca 135 ťažkých mechanizmov na výkopové práce
- Inštalovala 28 monitorovacích studní
- Premiestnila cca 98 700 t pôdy zamorenej amoniakom s koncentráciou vyššou ako 500 mg/kg z centrálného miesta havárie a spod koľajiska
- Odstránila cca 7600 m² ľadu z rieky Souris
- Inštalovala záchytné nádrže podzemnej vody v topograficky nižších miestach nachádzajúcich sa južne a severne od hlavnej železničnej trate
- Inštalovali a pokračovali v prevádzke extrakčného systému podzemnej vody
- Vypracovali zhodnotenie výkopového programu vzhľadom na podzemné vody a pôdu pod koľajiskom
- Bolo odobratých 1145 vzoriek povrchovej vody z rieky Souris a 212 vzoriek podzemnej vody [12]

Obrázok č. 6: Cisterna 19 a pod ňou 20 [12]



5.2. Vykoľajenie nákladného vlaku M304-41-21 spoločnosti Canadian National a následný únik bezvodého amoniaku a LPG pri meste Britt, Ontario

5.2.1. Popis havárie

23. septembra 1999 o 13:11 došlo k vykoľajeniu nákladného vlaku M304-41-21 spoločnosti Canadian National, ktorý smeroval do Toronta, Ontario. Vykoľajilo sa 26 vagónov, od 56. do 81. za lokomotívou, v blízkosti severnej výhybky na súkromnú trať v Mowate, blízko mesta Britt, Ontario. Medzi vykoľajenými vagónmi sa nachádzalo 14 cisternových vagónov naposledy obsahujúcich LPG, 1 cisternový vagón naplnený LPG a 3 cisternové vagóny obsahujúce bezvodý amoniak. Pri havárii došlo k roztrhnutiu vagóna naplneného LPG a 1 z vagónov obsahujúcich bezvodý amoniak, pričom z oboch sa uvoľnil produkt, ktorý sa zapálil a došlo k vytvoreniu viacerých ohnísk.

O 13:48, 37 minút po aplikácii ručnej brzdy, vagón naplnený LPG explodoval a časti nádrže a plášťa sa rozleteli do všetkých smerov. Došlo tak k uvoľneniu cca 57 607 kg LPG a 71 668 kg bezvodého amoniaku. Všetok LPG a veľká časť amoniaku boli pohltené požiarom. K zraneniu posádky vlaku nedošlo, avšak, 1 policajt, 1 miestny drevorubač, a 2 hasiči utrpeli ľahšie zranenia ako dôsledok kontaktu s výparmi amoniaku. Rýchlosť pri vykoľajení bola cca 56 km/h. [14]

Obrázok č.7: Diera v plášti cisternového vagóna obsahujúceho bezvodý amoniak [14]



Obrázok č. 8: Situácia po požiari a diera v plášti cisternového vagóna [14]



6. Analýza rizika prepravy na vybranom úseku železnice

6.1. Popis vybraného úseku trate

Pre účely tejto diplomovej práce budem posudzovať úsek trate Košice - Sabinov. Trať sa nachádza v Košickej Kotline a vedie obcami Košice – Kostol'any nad Hornádom – Trebejov – Kysak – Obišovce – Ličartovce – Drienovská Nová Ves – Kendice – Haniska pri Prešove – Prešov – Veľký Šariš – Šarišské Michal'any – Sabinov. Priemerná rýchlosť na trati je 80 km/h, nachádza sa na nej 23 výhybiek a 1 križovatka, výškové prevýšenie je cca 20 m.

Hustota zaľudnenia na tomto úseku je uvedená v tabuľke č. 4 a množstvá jednotlivých prepravovaných nebezpečných látok sú uvedené v tabuľke č. 5.

Tabuľka č. 4: Hustota zaľudnenia podľa [4]

Obec	Počet obyvateľov	Hustota zaľudnenia (počet osôb / ha)
Košice	242 066	160
Kostol'any nad Hornádom	1132	10
Trebejov	165	10
Kysak	1361	10
Obišovce	370	10
Ličartovce	947	10
Drienovská Nová Ves	695	10
Kendice	1 675	10
Haniska pri Prešove	586	10
Prešov	91 621	90
Veľký Šariš	4 018	20
Šarišské Michal'any	2 698	20
Sabinov	12 378	30

Tabuľka č. 5: Súhrn prepravovaných chemických látok za rok 2007

UN kód	Názov látky	Kemler kód	Prepravené množstvo (t)	Počet vozňov
1090	Acetón	33	1 986	47
1120	Butanoly	33	251	9
1203	Benzín	33	13 410	327
1005	Amoniak bezvodý	268	4 350	87
1294	Toluén	33	545	11
1965	Uhl'ovodíky plynné, zmes skvapalnené	23	658	15
3295	Uhl'ovodíky kvapalné	33	305	6
1198	Formaldehyd, roztok horľavý	38	377	10
1202	Motorová nafta vyhovujúca EN 590:204	30	14 980	281
2209	Formaldehyd, roztok obsahujúci najmenej 25% formaldehydu	80	2 099	57

6.2. Výber závažných úsekov trasy podľa [3]

Touto metódou vyhodnotíme, či riziko dopravy nebezpečných látok po určitej trase vyhovuje bezpečnostným požiadavkám pre okolie pomocou medznej hodnoty. Porovnaním frekvencie ročných dopravných tokov s medznými hodnotami dáva prvý rýchly prehľad o úrovni rizík. Ak je ročná frekvencia dopravy po železnici menšia než medzná hodnota, kvantifikácia rizík z hľadiska bezpečnosti okolia nie je potrebná, hoci sa môžu vyskytnúť nehody s únikom nebezpečných látok.

Látky sú rozdelené do kategórií spôsobom, ktorý je (z historických dôvodov) špecifický pre železničnú dopravu. Kategorizácia látok je výhradne založená na Kemler kódoch. Kategórie látok pre železničnú dopravu sú uvedené v tabuľke č. 6.

Tabuľka č. 6: Kategórie látok pre železničnú dopravu [3]

Kategórie látok	Kemler kód	Poznámka
A	23, 263, 239	Horľavé plyny, skvapalnené tlakom, napr. LPG
B2	26, 265, 268 (okrem chlóru)	Toxické plyny, skvapalnené tlakom, napr. amoniak
B3	Chlór samostatne	Extrémne toxické plyny, skvapalnené tlakom, napr. chlór
Chlór	Chlór samostatne	Špecializované vlaky s chlórrom
D3	Akrylonitril samostatne	Toxické kvapaliny, napr. akrylonitril
D4	66, 663, 668, 886, X88, X886	Extrémne toxické kvapaliny, napr. fluorovodík
C3	33, 336 (mimo akrylonitril), 338, 339, X323, X333, X338	Extrémne horľavé kvapaliny, napr. náplne motorov (olej, benzín)

Kategorizácia nebezpečných látok prepravovaných na úseku Košice – Sabinov podľa tabuľky číslo 6 je v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka č. 7: Súhrn prepravovaných nebezpečných látok za rok 2007

UN kód	Názov látky	Kemler kód	Prepravené množstvo (t)	Kategória	Počet vozňov	Korigovaný počet vozňov
1090	Acetón	33	1 986	C3	47	89
1120	Butanoly	33	251	C3	9	17
1203	Benzín	33	13 410	C3	327	621
1005	Amoniak bezvodý	268	4 350	B2	87	105
1294	Toluén	33	545	C3	11	21
1965	Uhl'ovodíky plynné, zmes, skvapalnené	23	658	A	15	18
3295	Uhl'ovodíky kvapalné	33	305	C3	6	12
1198	Formaldehyd, roztok horľavý	38	377	X	10	X
1202	Motorová nafta vyhovujúca EN 590:204	30	14 980	X	281	X
2209	Formaldehyd, roztok obsahujúci najmenej 25% formaldehydu	80	2 099	X	57	X

x – podľa tabuľky č. 4 nespadá do žiadnej z kategórií

Hodnoty uvedené v tabuľke č. 5 sú získané od nemenovanej prepravnej spoločnosti na Slovensku. Tieto hodnoty nevyjadrujú skutočné množstvá prepravovaných látok vzhľadom na to, že na Slovensku figurujú aj ďalší menší súkromní prepravcovia, od ktorých je veľmi ťažké tieto informácie získať.

Preto pre účely získania reálnejších hodnôt sú tieto hodnoty násobené korekčnými koeficientmi k_1 a k_2 , ktoré zohľadňujú množstvá prepravené týmito súkromnými spoločnosťami.

k_1 pre látky kategórie C3 je rovný 1,9

k_2 pre nebezpečné látky z tab. č. okrem kategórie C3 je rovný 1,2

Po aplikovaní korekcie

- počet vagónov prevážajúcich látky kategórie C3 za rok – 760
- počet vagónov prevážajúcich všetky nebezpečné látky za rok - 883

6.3. Medzné hodnoty pre železnice podľa [3]

Vonkajšie riziká prepravy nebezpečných látok po železnici závisia na prepravovanej látke a na povahe trate, najmä rýchlosti vlaku. Sú rozlišované nasledujúce typy železničných tratí:

- trate s vysokou rýchlosťou ($> 40 \text{ km/h}$),
- trate s nízkou rýchlosťou ($< 40 \text{ km/h}$).

Na tomto úseku trate sa vlakové súpravy pohybujú rýchlosťou 80 až 100 km/h, na miestach s obmedzenou rýchlosťou ako sú poškodené úseky trate je rýchlosť obmedzená dočasne na 40 km/h, prípadne podľa situácie. Preto je tento úsek zaradený do typu - trať s vysokou rýchlosťou.

6.4. Individuálne riziko

Individuálne riziko predstavuje frekvenciu úmrtia jedinca v návaznosti na prípadnú LOC. Tabuľka č. 8 udáva ročné medzné hodnoty pre prepravu látok C3 a všetkých nebezpečných látok, kedy nedôjde k prekročeniu individuálneho rizika 10^{-6} .

Tabuľka č. 8: Ročné medzné hodnoty neprekračujúce individuálne riziko 10^{-6} [3]

	TYP TRATE	
	Vysoká rýchlosť	Nízka rýchlosť
Medzné hodnoty pre látky C3 (vagónov / rok)	3000	Neprekročené 10^{-6}
Medzné hodnoty pre všetky nebezpečné látky (vagónov / rok)	7000	Neprekročené 10^{-6}

Medzné hodnoty sa vzťahujú na idúce vagóny a podmienky otvorených tratí (bez tunelov a prekážok). Pre zoraďovacíu stanicu a súkromné vedľajšie trate je dostupná špecifická metóda výpočtu.

Prekročenie individuálneho rizika 10^{-6} / rok pre trate s nízkou rýchlosťou si vyžaduje viac než 55.000 dopravných tokov ročne. To je nereálne vysoké. Preto nie sú stanovené medzné hodnoty pre trate s nízkou rýchlosťou.

"Všetky nebezpečné látky" znamená látky zaradené do jednej z kategórií uvedených v tabuľke č. 6.

Individuálne riziko pre vysokorychlostné trate (viď. tabuľka č. 9)

- látky kategórie C3 (3000 vagónov/rok) nebolo prekročené
- všetky nebezpečné látky (7000 vagónov/rok) nebolo prekročené

avšak pre účely tejto diplomovej práce bude vykonané detailné hodnotenie rizika.

Tabuľka č. 9: Posúdenie individuálneho rizika

Kategória	Medzné hodnoty pre individuálne riziko	Prepravované množstvo (počet vagónov)	Prekročené individuálne riziko
C3	3000	760	Nie
Všetky ostatné látky	7000	883	Nie

6.5. Spoločenské riziko

Spoločenské riziko predstavuje frekvenciu takej udalosti, pri ktorej zahynie viac osôb súčasne. Závisí na ročnej frekvencii dopravných tokov a na vzdialenosti a hustote obyvateľstva pozdĺž trate. Úroveň spoločenského rizika je silne závislá na prítomnosti extrémne toxických stlačených plynov. V našom prípade sa tento typ látky na danom úseku nepreváža. Kritériá spoločenského rizika môžu byť prekročené ak ročná frekvencia vagónov prevýši hodnoty uvedené v tabuľke č. 10. Posúdenie spoločenského rizika sa nachádza v tabuľke č. 11.

Tabuľka č. 10: Medzné hodnoty neprekračujúce kritériá spoločenského rizika [3]

Hustota populácie (počet osôb / ha)	Medzné hodnoty pre všetky nebezpečné látky (vagónov / rok)	
	Trate s vysokou rýchlosťou	Trate s nízkou rýchlosťou
100	7500	37500
90	9000	46000
80	12000	58500
70	15000	76500
60	21000	104000
50	30000	150000
40	47000	234000
30	83000	416000
20	187000	

Medzné hodnoty sú formulované konzervatívne, napr. obytné plochy sú predpokladané v priamom susedstve trate.

Hustota populácie je stanovená ako priemerná hustota do 200 m od trate. Ak je maximálna hustota trikrát väčšia než priemerná, mala by byť použitá maximálna hodnota.

Tabuľka č. 10 sa vzťahuje na obytné územia po jednej strane železničnej trate. Ak sú obytné plochy po oboch stranách trate, mala by byť frekvencia delená 4.

Medzné hodnoty sa vzťahujú na idúce vagóny a podmienky otvorených tratí (bez tunelov a prekážok). Pre zoraďovacíu stanicu a súkromné úseky trate je dostupná špecifická metóda výpočtu.

"Všetky nebezpečné látky" znamená látky zaradené do jednej z kategórií uvedených v tabuľke č. 6.

Tabuľka č. 11: Posúdenie spoločenského rizika

Obec	Počet obyvateľov	Hustota zaľudnenia (počet osôb / ha)	Medzná hodnota pre všetky nebezpečné látky Trate s vysokou rýchlosťou (vagónov / rok)	Kritériá spoločenského rizika
Košice	242 066	160	7 500	neprekročené
Kostoľany nad Hornádom	1 132	10	187 000	neprekročené
Trebejov	165	10	187 000	neprekročené
Kysak	1 361	10	187 000	neprekročené
Obišovce	370	10	187 000	neprekročené
Ličartovce	947	10	187 000	neprekročené
Drienovská Nová Ves	695	10	187 000	neprekročené
Kendice	1 675	10	187 000	neprekročené
Haniska pri Prešove	586	10	187 000	neprekročené
Prešov	91 621	90	9 000	neprekročené
Veľký Šariš	4 018	20	187 000	neprekročené
Šarišské Michalany	2 698	20	187 000	neprekročené
Sabinov	12 378	30	83 000	neprekročené

6.6. Analýza rizika pri preprave nebezpečných látok v cisternách po železnici, únik nebezpečných látok (LOC) na trati Košice - Sabinov

Únik nebezpečnej látky (LOC)

Riziko prepravy nebezpečných látok na železnici je posudzované pre látky uvedené v tabuľke č. 6 . Všetky ostatné látky nie sú relevantné a nebudú sa posudzovať.

Pre železničnú prepravu sú definované nasledujúce havárie s únikom nebezpečnej látky – únik z diery v cisterne s priemerom 7,5 cm

- roztrhnutie cisterny

6.7. Frekvencia havárií a úniku nebezpečnej látky po železnici

Obecná frekvencia havárie pre cisternu na koľajniciach mimo stanice je $3,6 \cdot 10^{-8}$ na cisternu a jeden kilometer. Ak je rýchlosť vlaku väčšia ako 40 km/h, frekvenciu $3,6 \cdot 10^{-8}$ násobíme korekčným faktorom 1,26.

Je stanovená pravdepodobnosť úniku. Predpokladá sa únik viac ako 100 kg látky. Pravdepodobnosť výtoku závisí na rýchlosti vlaku a na druhu cisterny. Vid'. tabuľku č. 12. [3]

Tabuľka č. 12: Pravdepodobnosť výtoku (>100 kg) pri havárii [3]

Rýchlosť vlaku	Pravdepodobnosť výtoku (>100 kg)	
	Atmosférická cisterna	Pretlaková cisterna
< 40 km/h	$7,9 \cdot 10^{-2}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$
> 40 km/h	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$

Ak sa na trati nachádza výhybka, frekvencia havárie sa zvyšuje o $3,3 \cdot 10^{-8}$ cisterna / km. V prípade križovatky o hodnotu $0,8 \cdot 10^{-8}$ cisterna / km. [3] Stanovenie frekvencie havárie sa nachádza v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka č. 13: Stanovenie frekvencie havárie

Obecná frekvencia havárie (cisterna / rok)	$3,6 \cdot 10^{-8}$	
Križovatka	$0,8 \cdot 10^{-8}$	
	23 výhybiek	1 výhybka
Výhybky na trati	$7,6 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$
Korekčný faktor pre rýchlosť > 40 km/h	1,26	
Dĺžka trate (km)	53	
Frekvencia havárie (cisterna / rok)	$5,4 \cdot 10^{-5}$	
	Pretlaková cisterna	Atmosférická cisterna
Pravdepodobnosť úniku pri havárii >100kg	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-1}$
Výsledná frekvencia závažnej havárie s únikom >100kg (cisterna / rok)	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-5}$

Na danom úseku sa nachádza 23 výhybiek a jedna križovatka.

Výpočet frekvencie havárie

$$3,6 \cdot 10^{-8} \cdot 53 + (23 \cdot 3,3 \cdot 10^{-8}) + 0,8 \cdot 10^{-8} = 5,4 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Výsledná frekvencia závažnej havárie/rok pre pretlakovú cisternu } 5,4 \cdot 10^{-5} \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-7}$$

$$\text{Výsledná frekvencia závažnej havárie/rok pre atmosférickú cisternu } 5,4 \cdot 10^{-5} \cdot 5,6 \cdot 10^{-1} = 3 \cdot 10^{-5}$$

6.8. Stanovenie frekvencie havárie cisterny s amoniakom a acetónom v Košiciach a v Prešove

Tieto miesta boli vybraté vzhľadom na počet ohrozených obyvateľov. Z nebezpečných látok bol vybraný acetón (vysoko horľavá látka), Kemler kód 33 a amoniak (toxická látka) s najvyšším počtom cisterien za rok na danom úseku, Kemler kód 268. Pre stanovenie frekvencie havárie cisterny amoniaku a acetónu vo vybraných miestach budú použité údaje v tabuľke č. 14.

Tabuľka č. 14: Stanovenie frekvencie havárie pre amoniak a acetón vo vybraných miestach

	Košice	Prešov
Obečná frekvencia havárie (cisterna / rok)	$3,6 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-8}$
Korekčný faktor pre rýchlosť > 40 km/h	1,26	1,26
Dĺžka trasy	1	1
Frekvencia havárie (cisterna / rok)	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$
	Pretlaková cisterna s amoniakom	Atmosférická cisterna s acetónom
Pravdepodobnosť úniku pri havárii >100kg	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-1}$
Výsledná frekvencia závažnej havárie s únikom >100kg (cisterna / rok)	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$2,52 \cdot 10^{-8}$

Frekvencia havárie pre miesto v Košiciach:

$$3,6 \cdot 10^{-8} \cdot 1,26 \cdot 1 = 4,5 \cdot 10^{-8}$$

Frekvencia havárie pre miesto v Prešove:

$$3,6 \cdot 10^{-8} \cdot 1,26 \cdot 1 = 4,5 \cdot 10^{-8}$$

V tomto prípade frekvencia havárie (cisterna / rok) vyjadruje pravdepodobnosť že sa havária stane práve na danom mieste. Tento údaj je rovnaký pre obe miesta. Výsledná frekvencia závažnej havárie s únikom >100kg (cisterna / rok) na mieste v Košiciach a v Prešove je rovnaká pre obe miesta, je však rôzna pre cisternu s amoniakom a cisternu s acetónom. Preto frekvencia havárie je násobená pravdepodobnosťou úniku >100kg.

Pre cisternu s amoniakom:

$$4,5 \cdot 10^{-8} \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} = 1,3 \cdot 10^{-10}$$

Pre cisternu s acetónom:

$$4,5 \cdot 10^{-8} \cdot 5,6 \cdot 10^{-1} = 2,52 \cdot 10^{-8}$$

6.9. Bližší popis látok – amoniak bezvodý a acetón

Chemický názov: amoniak bezvodý

Kemler kód: 268

UN kód: 1005

číslo CAS: 7664-41-7

číslo ES/EINECS: 231-635-3

expozičné limity: PEL: 14 mg/m³; NPK: 36 mg/m³

skupenstvo (pri 20 °C) : plynné

farba: bezfarebný plyn

teplota topenia: - 77,7 °C

bod varu: -33,4 °C

samozápalnosť: nie je samozápalný

medze výbušnosti: **horná medza** (% obj.) : 28

dolná medza (% obj.) : 15

- je to bezfarebný plyn, ľahší ako vzduch, ostrého štiplavého zápachu, pri odparovaní z kvapalného stavu tvorí chladné hmly, ktoré sú ťažšie ako vzduch, so vzduchom tvorí leptavé výbušné zmesi, je málo horľavý;

- kvapalný a plyný silne dráždi a leptá oči, dýchacie cesty, pľúca a kožu; spôsobuje dráždivý kašeľ a dýchavičnosť, kŕče dýchania môžu viesť až k uduseniu; kvapalný vyvoláva silné omrzliny; nadýchanie vyšších koncentrácií môže privodiť až smrť;
- môže zmeniť hodnotu pH vodného prostredia;
- termickým rozkladom vznikajú oxidy dusíka;
- s vodou tvorí žieravé lúhy, so vzduchom vytvára výbušné zmesi;
- je možné použiť všetky hasivá, trieštená voda, snehový hasiaci prístroj; nutné prispôbiť okoliu;
- pôsobením ohňa môže dôjsť k explózii tlakovej nádoby
- koncentrácia 0,25% pár vo vzduchu je nebezpečná pri vdychovaní po dobu 30 minút

prvá pomoc

pri nadýchaní: postihnutého dopraviť s pomocou nezávislého dýchacieho prístroja na čerstvý vzduch; udržiavať v teple a kľude; privolať lekára; pri zástave dychu použiť umelé dýchanie;

pri styku s kožou: spôsobuje poleptanie kože; umývať najmenej 15 minút vodou;

pri zasiahnutí očí: oči ihneď vymývať najmenej 15 minút vodou; vyhľadať lekára;

ochranné prostriedky pre hasičov: nezávislý dýchací prístroj, protichemický odev

bezpečnostné opatrenia pre ochranu osôb: evakuovať priestor; použiť nezávislý dýchací prístroj; zaistiť dostatočné vetranie

bezpečnostné opatrenia pre ochranu životného prostredia: pokúsiť sa zastaviť únik plynu; pary zrážať vodnou hmlou alebo trieštenou vodou; zamedziť vniknutiu do kanalizácie a vodných tokov

doporučené metódy čistenia a zneškodnenia: priestor vyvetrať; evakuovať osoby, odstrániť horľavé predmety a zdroje zapálenia; priestor postrekovať vodou pokým nie je skvapalnený plyn odparený (odparenie námrazy); predmety ktoré prišli do styku s plynom a okolie úniku plynu opláchnuť dostatočne vodou.

pokyny pre zachádzanie: použiť iba zariadenie určené pre tento výrobok pre daný tlak a teplotu; zamedziť spätnému prúdeniu plynu do nádoby; zamedziť vniknutiu vody do nádoby; neumiestňovať do blízkosti zdrojov zapálenia; zamedziť vzniku elektrostatického náboja; pred zavedením plynu do zariadenia toto zariadenie odvzdušniť;

R vety R10 - horľavina
R23 – jedovatý pri vdýchnutí
R34 – spôsobuje popáleniny / poleptanie
R50 – veľmi jedovatý pre vodné organizmy

S vety S1/2 – uchovávať uzamknutý a mimo dosah detí
S9 – uchovávať nádobu na dobre vetranom mieste
S16 – uchovávať mimo dosah zdrojov zapálenia – zákaz fajčenia
S26 – v prípade kontaktu s očami je potrebné ihneď ich vymyť veľkým množstvom vody a vyhľadať lekársku pomoc
S36/37/39 – noste vhodný ochranný odev, rukavice a ochranné prostriedky na oči / tvár
S45 – v prípade nehody alebo ak sa necítite dobre, okamžite vyhľadajte lekársku pomoc
S61 – zabráňte uvoľneniu do životného prostredia, oboznámte sa so špeciálnymi inštrukciami, kartou bezpečnostných údajov

symbol a indikácia nebezpečenstva - T : Toxický
- N : Nebezpečný pre životné prostredie

špecifické limitné koncentrácie

koncentrácia	klasifikácia
$c \geq 25 \%$	T, N; R23 – 34 - 50
$5\% \leq c < 25\%$	T; R23 - 34
$0,5 \% \leq c < 5\%$	X _n ; R20 – 36/37/39 [7]

Chemický názov: acetón

Kemler kód: 33

UN kód: 1090

číslo CAS: 67-64-1

číslo RTECS: AL 31500000

expozičné limity: PEL: 1000ppm;

skupenstvo (pri 20 °C) : bezfarebná kvapalina

teplota vzplanutia: - 18°C

teplota vznietenia: 465°C

bod varu: 56,53°C

samozápalnosť: nie je samozápalný

medze výbušnosti: **horná medza** (% obj.) : 12,8

dolná medza (% obj.) : 2,5

R vety

R11 - vysoko horľavá

R36 – dráždi oči

R66 – opakovaná expozícia môže spôsobiť vysušovanie a praskanie pokožky

R67 – výpary môžu spôsobiť nevoľnosť

S vety

S9 – skladujte kontajner na dobre vetranom mieste

S16 – skladujte mimo zdroja zapálenia. Zákaz fajčiť

S26 – V prípade kontaktu s očami, okamžite vypláchnite s veľkým množstvom vody a neodkladne vyhľadajte doktora [8]

7. Hodnotenie rizík pomocou metodiky ARAMIS

7.1. Popis metodiky ARAMIS

Pomocou metodiky ARAMIS budú po výbere významných zdrojov rizík vytvorené bow-ties. Bow-tie udáva pravdepodobné príčiny vedúce ku kritickej udalosti a následne priebeh kritickej udalosti. Využité budú len niektoré kroky z metodiky ARAMIS, tie ktoré sú potrebné pre selekciu relevantných zdrojov rizika a vytvorenie jednotlivých zložiek bow-tie t.j. event tree a fault tree. Metodika ARAMIS sa skladá z dvoch čiastkových metód MIMAH a MIRAS. Prvým krokom je priradenie typu zariadenia, podľa [2] vid'. tabuľka č.15.

Tabuľka č. 15: Klasifikácia vybraných prevážaných nebezpečných látok

Nebezpečná Látka	Klasifikácia R-vety	Množstvá (kg)	Označenie cisterny Typ zariadenia	Fyzikálny stav látky
Amoniak	T, N R 10-23-34-50	50 000	Vlaková cisterna EQ8	skvapalnený plyn
Acetón	R11,R36,R66,R67	47 000	Vlaková cisterna EQ9	kvapalina
Benzín	R45,R65	45 000	vlaková cisterna EQ9	kvapalina
Butanol	R10,R22,R37/38 R41,R67	28 000	vlaková cisterna EQ9	kvapalina
Toluén	R11,R20	49 500	vlaková cisterna EQ9	kvapalina

7.2. MIMAH krok 3 : Výber významných zdrojov rizík

Selekcia relevantných nebezpečných zariadení je kritickým krokom v ktorejkoľvek analýze rizík. Zariadenie obsahujúce nebezpečné látky bude vybrané ako relevantne nebezpečné zariadenie ak množstvo nebezpečnej látky v zariadení je väčšie alebo rovné hraničnému množstvu. Prahové množstvá sú uvedené v tabuľke č. 16. Prahové množstvo závisí na nebezpečných vlastnostiach látky, fyzikálnom stave a eventuálne na umiestnení s prihliadnutím na iné nebezpečné zariadenie. [2]

Tabuľka č. 16 : Definované prahové množstvo nebezpečných látok [2]

Vlastnosti látok	Definované prahové množstvo Ma (kg)		
	Pevné l.	Kvapaliny	Plyny
1. Vysoko toxické	10 000	1 000	100
2. Toxické	100 000	10 000	1 000
3. Oxidujúce	10 000	10 000	10 000
4. Výbušné (definované zák. 349/2004 v pozn. 2a)	10 000	10 000	---
5. Výbušné (definované zák. 349/2004 v pozn. 2b)	1 000	1 000	---
6. Horľavé	---	10 000	---
7. Vysoko horľavé	---	10 000	---
8. Extrémne horľavé	---	10 000	1 000
9. Nebezpečné pre životné prostredie	100 000	10 000	1 000
10. Klasifikované R vetami R14, R14/15, R29	10 000	10 000	---

Pre kvapaliny, prahové množstvo Ma uvedené v tabuľke č. 16 musí byť podelené koeficientom S. Potom nové referenčné množstvo Mb je $M_b = M_a / S$.

Zariadenie bude vybrané ak skutočné množstvo M je vyššie ako referenčné množstvo Mb.

S je súčet koeficientu S_1 a koeficientu S_2 .

S musí byť v intervale 0,1 – 10

$$0,1 \leq S \leq 10$$

Ak $S < 0,1$ potom $S = 0,1$

Ak $S > 10$ potom $S = 10$

Koeficient S_1 vyjadruje rozdiel medzi prevádzkovou teplotou T_p (°C) a teplotou varu pri atmosférickom tlaku T_{eb} (°C) podľa

Koeficient S_2 sa aplikuje len v prípade ak prevádzková teplota je nižšia ako 0°C, podľa

$$S_2 = T_{eb} / (-50)$$

V ostatných prípadoch (kladné prevádzkové teploty) $S_2 = 0$

Pre Amoniak, Acetón, Benzín, Butanol, Toulén $S_2 = 0$

Amoniak:

$$S_1 = 10^{\epsilon}(T_p - T_{eb}) / 100 = 10^{\epsilon}(20 + 33) / 100 = 10^{0,53} = 3,39$$

Teploty sa uvádzajú v °C.

$$S = S_1 + S_2 = 3,39$$

Prahové množstvo M_a (kg)

$$M_a = 1000 \text{ kg}$$

$$M_b = M_a / S = 1000 / 3,39 = 294,99 \text{ kg}$$

$$M_b < M$$

Acetón:

$$S_1 = 10^{\epsilon}(T_p - T_{eb}) / 100 = 10^{\epsilon}(20 - 56,5) / 100 = 10^{-0,365} = 0,43$$

Teploty sa uvádzajú v °C.

$$S = S_1 + S_2 = 0,43$$

Prahové množstvo M_a (kg)

$$M_a = 10000 \text{ kg}$$

$$M_b = M_a / S = 10000 / 0,43 = 23\,173,95 \text{ kg}$$

$$M_b < M$$

Benzín:

$$S_1 = 10^{\epsilon}(T_p - T_{eb}) / 100 = 10^{\epsilon}(20 - 35) / 100 = 10^{-0,15} = 0,7$$

Teploty sa uvádzajú v °C.

$$S = S_1 + S_2 = 0,7$$

Prahové množstvo M_a (kg)

$$M_a = 10000 \text{ kg}$$

$$M_b = M_a / S = 10000 / 0,7 = 14285,7 \text{ kg}$$

$$M_b < M$$

Butanol:

$$S_1 = 10^{\epsilon}(T_p - T_{eb}) / 100 = 10^{\epsilon}(20 - 117,73) / 100 = 10^{-0,977} = 0,1$$

Teploty sa uvádzajú v °C.

$$S = S_1 + S_2 = 0,1$$

Prahové množstvo M_a (kg)

$$M_a = 10000 \text{ kg}$$

$$M_b = M_a / S = 10000 / 0,1 = 100000 \text{ kg}$$

$$M_b > M$$

Toluén:

$$S_1 = 10^e(T_p - T_{eb}) / 100 = 10^e(20 - 110,63) / 100 = 10^{-0,906} = 0,124$$

Teploty sa uvádzajú v °C.

$$S = S_1 + S_2 = 0,124$$

Prahové množstvo Ma (kg)

$$Ma = 10000 \text{ kg}$$

$$Mb = Ma / S = 10000 / 0,12 = 83333 \text{ kg}$$

$$Mb > M$$

Tabuľka č. 17: Výber významných zdrojov rizík

Nebezpečná Látka	Fyzikálny Stav	Klasifikácia	Bod varu (°C)	Prevádzková teplota (°C)	Množstvo M (kg)	Prahové množstvo Ma (kg)	Koeficient S ₁	Koeficient S ₂	Koeficient S	Množstvo Mb (kg)	Výber ak je Mb < M
Amoniak	skvapalnený plyn	R10, T,N	-33	20	50000	1000	3,39	0	3,39	294,99	Áno
Acetón	kvapalina	R11,36, R66,67 Xi,F	56,53	20	47000	10000	0,43	0	0,43	23174	Áno
Benzín	kvapalina	R45,R65, T	35	20	45000	10000	0,7	0	0,7	14285,7	Áno
Butanol	kvapalina	R10,22,37 R41,67,38	117,73	20	28000	10000	0,1	0	0,1	100000	Nie
Toluén	kvapalina	R11,R20, F,Xn	110,63	20	49500	10000	0,12	0	0,12	83333	Nie

V nasledujúcich častiach sa budeme zaoberať len dvoma významnými zdrojmi rizík a to atmosférickou vlakovou cisternou prevážajúcou acetón a pretlakovou vlakovou cisternou prevážajúcou amoniak. Bližší popis týchto látok sa nachádza v kapitole 6.9.

7.3. MIMAH krok 4: Priradenie kritickej udalosti

Pre každý vybraný zdroj rizika musí byť priradená kritická udalosť (CE – Critical Event). Kritická udalosť je definovaná ako únik obsahu (LOC – Loss of Containment) tekutín zo zariadenia alebo pre pevné látky presnejšie zmena fyzikálneho stavu (LPI – Loss of Physical Integrity). Metóda MIMAH predpokladá nasledujúcich 12 kritických udalostí:

- CE1 – Dekompozícia
- CE2 – Explózia
- CE3 – Materiál v pohybe (spôsobený vzduchom)
- CE4 – Materiál v pohybe (spôsobený kvapalinou)
- CE5 – Vznietenie
- CE6 – Trhlina plášťa s únikom pár
- CE7 – Trhlina plášťa s únikom kvapaliny
- CE8 – Únik kvapaliny z potrubia
- CE9 – Únik plynu z potrubia
- CE10 – Katastrofálne roztrhnutie
- CE11 – Zrútenie nádoby
- CE12 – Zrútenie strechy

Pre priradenie kritickej udalosti k závažnému zdroju rizika sú používané dve matice:

- matica typu zariadenia a 12 potenciálnych kritických udalostí
- matica fyzikálneho stavu látok a 12 potenciálnych kritických udalostí

Pomocou týchto matíc je možné určiť, ktoré kritické udalosti musia byť priradené k danému zariadeniu a k danému fyzikálnemu stavu látky. Zoznam kritických udalostí priradených k vybraným zdrojom rizika je zrejmý z nasledujúcej tabuľky č.18. [2]

Podľa nižšie uvedenej tabuľky č. 18 by výsledkom bolo priradenie 5 kritických udalostí pre atmosférickú vlakovú cisternu prevážajúcu acetón a 6 kritických udalostí pre pretlakovú vlakovú cisternu prevážajúcu bezvodý amoniak. Pre účely tejto diplomovej práce bol, pre obe zariadenia, počet obmedzený len na jednu kritickú udalosť. CE7-Trhlina plášťa s únikom kvapaliny. Priebeh tejto kritickej udalosti je identický, ako únik kvapaliny

z potrubia a pravdepodobnosť je vyššia ako pravdepodobnosť ostatných možných kritických udalostí.

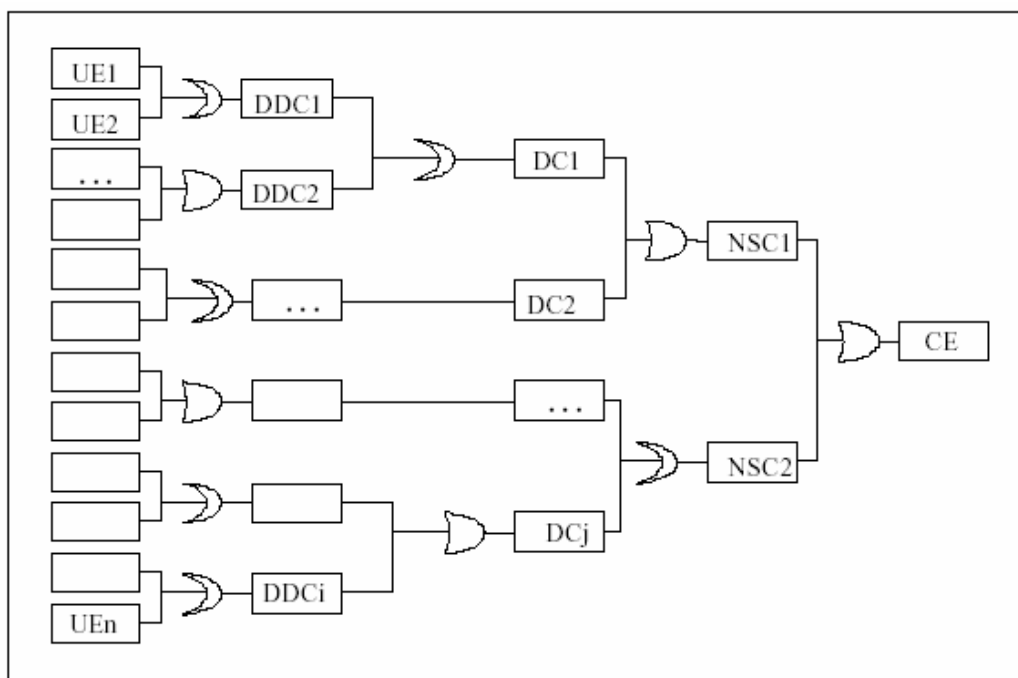
Tabuľka č. 18: Matica typu zariadenia + matica fyzikálneho stavu látok

	CE1 Dekompozícia	CE2 Explózia	CE3 Materiál uvedený do pohybu (spôsobený vzduchom)	CE4 Materiál uvedený do pohybu (spôsobený kvapalinou)	CE5 Vznietenie	CE6 Trhlina v plášti s únikom pár	CE7 Trhlina v plášti s únikom kvapaliny	CE8 Únik kvapaliny z potrubia	CE9 Únik plynu z potrubia	CE10 Katastrofálne roztrhnutie	CE11 Zrútenie nádoby	CE12 Zrútenie strechy
Tlakové transportné zariadenie EQ8					X	X	X	X	X	X		
Atmosférické transportné zariadenie EQ9					X		X	X		X	X	
Dve fázy STAT3					X	X	X	X	X	X		
Kvapalina STAT2					X		X	X		X	X	X
Výsledok EQ8 a STAT3					X	X	X	X	X	X		
Výsledok EQ9 a STAT2					X		X	X		X	X	

7.4. MIMAH krok 5: Zostavenie stromu porúch pre každú kritickú udalosť

Pre každú kritickú udalosť je najprv priradený jeden alebo viac obecných stromov porúch. Metodológia MIMAH navrhuje 14 preddefinovaných stromov porúch, ktoré sú obmedzené na 5 úrovni spojených AND a OR hradlami. Tieto stromy porúch sú pripravené ako zoznam všetkých možných príčin a mali by byť prispôbené konkrétnemu zariadeniu. Vzor stromu porúch je uvedený na nasledujúcom obrázku č. 9. [2]

Obrázok č. 9 : Štruktúra stromu porúch [2]



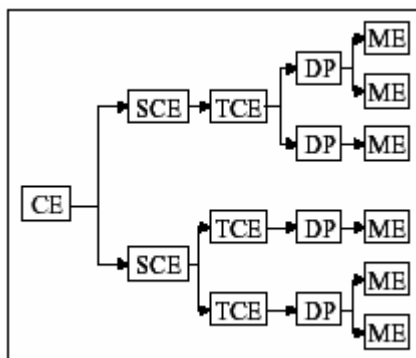
pozn. UE – neočakávaná udalosť, DDC – detailná priama príčina, DC – priama príčina, NSC – nevyhnutná príčina, CE – kritická udalosť.

Konkrétne stromy porúch z prípadovej štúdie sú uvedené v ďalšom texte v podobe bow-tie diagramu (kombinácia príčin a následkov havárie).

7.5. MIMAH krok 6: Zostavenie stromu udalostí pre každú kritickú udalosť

Ďalej je každej kritickej udalosti priradený strom udalostí, ktorý je možné generovať automaticky pomocou matíc v závislosti na fyzikálnom stave a nebezpečných vlastnostiach látok. Vzor stromu udalostí je uvedený na nasledujúcom obrázku č. 10.

Obrázok č. 10 : Štruktúra stromu udalostí [2]



pozn. CE – kritická udalosť, SCE – sekundárna kritická udalosť, TCE – terciálna kritická udalosť, DP – nebezpečný prejav, ME – závažná havária

Metodológia definuje 13 nebezpečných prejavov (Dangerous Phenomena DP):

- DP1 - Požiar kaluže (Poolfire).
- DP2 - Požiar zásobníka (Tankfire).
- DP3 - Požiar typu Jetfire (Jetfire).
- DP4 - Výbuch mraku pár (VCE).
- DP5 - Požiar typu Flashfire (Flashfire).
- DP6 - Toxický mrak (Toxic cloud).
- DP7 - Požiar (Fire).
- DP8 - Rozlet úlomkov (Missiles ejection).
- DP9 - Vývin pretlaku (Overpressure generation).
- DP10 - Požiar typu Fireball (Fireball).
- DP11 - Poškodenie životného prostredia (Environmental Damage).
- DP12 - Výbuch prachu (Dust explosion).
- DP13 - Prekypenie a následný požiar kaluže (Boilover and resulting poolfire).

Závažná udalosť (ME) je definovaná ako závažný účinok na cieľ (ľudské zdravie, zariadenie, životné prostredie,...) vyplývajúci z nebezpečného prejavu. Možné závažné účinky sú:

- ✓ Tepelné žiarenie (Thermal radiation).
- ✓ Pretlak (Overpressure).
- ✓ Úlomky (Missiles).
- ✓ Toxické účinky (Toxic effects)

Tieto závažné udalosti však nie sú v stromoch udalostí zobrazované vzhľadom k celkovému počtu možných variant. Preddefinované stromy udalostí sú upravené podľa miestnych podmienok hodnoteného zariadenia. Niektoré udalosti nemusia byť reálne, napríklad vzhľadom k teplotným a tlakovým podmienkam v zariadení. Preto sú preddefinované stromy udalostí upravené podľa príslušných R-viet nebezpečných látok. [2]

7.6. MIMAH krok 7: Zostavenie bow-tie diagramu pre každú kritickú udalosť

MIMAH metodológia končí zostavením kompletného bow-tie diagramu pre každé vybrané zariadenie. Bow-tie diagram je získaný spojením kritickej udalosti s príslušným stromom porúch vľavo a príslušným stromom udalostí vpravo. Tieto bow-tie diagramy je potrebné chápať ako scenáre závažnej havárie bez zvažovania inštalovaných bezpečnostných opatrení. Bow-tie diagram pre trhlínu (\varnothing 7,5 cm) v pretlakovej nádrži obsahujúcej bezvodý amoniak a bow-tie diagram pre trhlínu (\varnothing 7,5 cm) v atmosférickej nádrži obsahujúcej acetón sa nachádzajú v Prílohe č. 1 a v Prílohe č. 2. Strom porúch nám v našom prípade slúži ako ukážka možných príčin kritickej udalosti.

7.7. MIRAS krok 6: Vyhodnotenie tried následkov nebezpečných prejavov

Je nevyhnutné vykonať hrubé vyhodnotenie následkov nebezpečných prejavov. Toto kvalitatívne hodnotenie následkov je založené na zaradení nebezpečných prejavov do 4 tried následkov (C1 – C4), kde trieda C4 znamená najzávažnejšie dopady na zdravie ľudí alebo na životné prostredie. Výsledné triedy následkov sú zhrnuté v tabuľke č. 19. [2]

Tabuľka č.19: Frekvencia a triedy následkov nebezpečných prejavov [2]

	Nebezpečný prejav	Frekvencia (cisterna / rok)	Trieda následkov	Frekvencia za rok
Trhlina 7,5 cm v pretlakovej nádrži obsahujúcej amoniak	Toxický mrak	$6,5 \cdot 10^{-11}$	C3	$6,82 \cdot 10^{-9}$
	Poškodenie životného prostredia	$6,5 \cdot 10^{-11}$	C2	$6,82 \cdot 10^{-9}$
Trhlina 7,5 cm v atmosférickej nádrži obsahujúcej acetón	Požiar kaluže	$1,26 \cdot 10^{-8}$	C2	$1,12 \cdot 10^{-6}$
	VCE	$5,82 \cdot 10^{-7}$	C3	$5,18 \cdot 10^{-5}$
	Toxický mrak	$1,26 \cdot 10^{-8}$	C2	$1,12 \cdot 10^{-6}$
	Poškodenie životného prostredia	$1,26 \cdot 10^{-8}$	C2	$1,12 \cdot 10^{-6}$
	Flashfire	$2,91 \cdot 10^{-7}$	C3	$2,59 \cdot 10^{-5}$

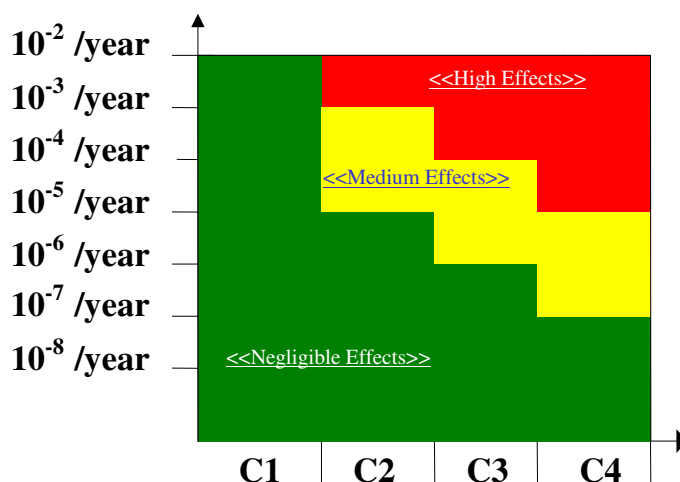
Definícia tried následkov:

- C1 - bez zranenia alebo mierne zranenia bez zastavenia práce
- len pozorovateľné efekty na ŽP, bez zásahu
- C2 - zranenie vedúce k hospitalizácii dlhšej ako 24 hodín
- vážne následky na ŽP, vyžadujúce zásah na miestnej úrovni
- C3 - nevyliciteľné alebo smrteľné zranenie vo vnútri podniku, vyliečiteľné zranenia mimo podniku
- následky na ŽP mimo podniku, vyžadujúce zásah na národnej úrovni
- C4 - nevyliciteľné alebo smrteľné zranenia mimo podniku
- nevratné následky na ŽP mimo podniku, vyžadujúce zásah na národnej úrovni [2]

7.8. MIRAS krok 7: Výber referenčného havarijného scenára

Referenčné scenáre sú vyberané pomocou nástrojov – Matice rizík (vid'. obrázok č. 11). V matici sú definované 3 zóny:

- zóna zanedbateľných dopadov
- zóna stredných dopadov
- zóna vysokých dopadov [2]



Obrázok č. 11: Matica rizík [2]

Vzhľadom na nízke frekvencie nebezpečných prejavov sa pre väčšinu prípadov nebezpečného prejavu dostávame do zóny zanedbateľného dopadu. Pre prejavy VCE a Flashfire sa dostaneme do zóny stredného dopadu. Zóna „stredných dopadov“ zodpovedá havarijným scenárom, ktoré budú mať pravdepodobne významné dopady.

8. ALOHA

8.1. Popis programu ALOHA

Program ALOHA je rozptylový model určený pre operačný systém Windows. Program využíva sériu rovníc Gaussovhovho rozdelenia k vyhodnoteniu pohybu znečisťujúcich látok uvoľnených do ovzdušia.

Obmedzenia programu ALOHA sú:

- program pracuje s nízkymi rýchlosťami vetra
- stabilnými atmosférickými podmienkami
- malým rozlíšením členitosti terénu
- nezahrňuje zmeny smeru vetra, efekty požiaru a chemických reakcií, rozptyl pevných častí a roztokov
- únik je stanovený na dobu jednej hodiny a rozptyl látok je obmedzený na vzdialenosť 10 km [9]

Súhrn vstupných údajov programu ALOHA a zobrazenie stopy oblaku pre látky amoniak a acetón o zadanej koncentrácii, dávku a výdatnosť zdroja sa nachádzajú v prílohách č. 3 – 5.

Boli vybrané 2 miesta havárie, pre ktoré sme aplikovali program ALOHA. Prvé miesto sa nachádza v Košiciach, 80 m na západ od križovatky ulíc Kmeťova, Benčúrova. Prevýšenie v tomto mieste je minimálne, zemepisná poloha je 48° 43' SŠ a 21° 15' VD, nadmorská výška je 208 m nad morom. Druhé miesto sa nachádza v Prešove, 80 m od Pavlovičovho námestia. Prevýšenie v tomto mieste je minimálne, zemepisná poloha je 49° 00' SŠ a 21° 15' VD, nadmorská výška je 255 m nad morom.

Priemerné teploty pre obe miesta sú v júli: 19,5°C a v januári: – 3,5°C. Priemerná ročná teplota je 8,6 °C. [13]

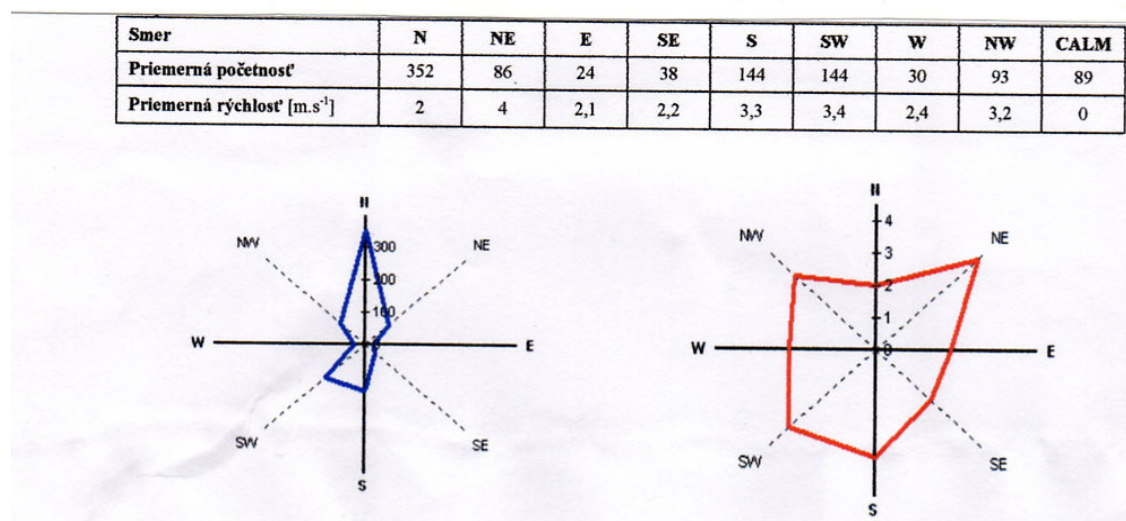
Priebeh šírenia toxického mraku je pri rovnakých poveternostných podmienkach pre obe miesta takmer identický. Vyplýva to z malej vzdialenosti oboch miest a vstupné údaje pre obe miesta sú takmer rovnaké.

8.2. Veterné pomery v oblasti Košice, Prešov

Veterné pomery sú určené orografickou polohou oblasti, vid' obr. č. 12 a 13. V danej oblasti je dominantné severné a južné prúdenie.

Priemerná ročná rýchlosť vetra dosahuje $4,4 \text{ m.s}^{-1}$, výskyt klimatického bezvetria je 10,3%. Najvyššiu priemernú rýchlosť dosahujú severné zložky prúdenia. Najveternejšími mesiacmi sú podľa tabuľky č. 20 mesiace marec, apríl, najmenej veterné sú august a september.

Tabuľka č. 20: Priemerná ročná početnosť a rýchlosť vetra v oblasti Košice, Prešov [5]



Obrázok č. 12: Priemerná ročná početnosť v oblasti Košice, Prešov [5]

Obrázok č. 13: Priemerná ročná rýchlosť vetra v oblasti Košice, Prešov [5]

8.3. ALOHA - únik amoniaku pri teplote 20°C

Vstupné údaje: rýchlosť vetra $2,1 \text{ metra za sekundu}$, teplota vzduchu 20°C , relatívna vlhkosť 62%, trieda stability C, objem cisterny 93,3 metrov kubických, cisterna je naplnená na 88%, trhlina je vo výške 0,99 m a má priemer 7,5 cm. Podrobnejšie údaje sa nachádzajú v prílohe č.3

Výpočet zasiahnutej plochy: $S = \pi \cdot a \cdot b$ pre únik amoniaku pri teplote 20 °C.

ERPG -1	ERPG – 2	ERPG – 3
a = 1 562,5 m	a = 937,5 m	a = 625 m
b = 5 000 m	b = 2 600 m	b = 1 150 m
$\pi = 3,14$	$\pi = 3,14$	$\pi = 3,14$
$S = 24\,531\,250\text{ m}^2$	$S = 7\,653\,750\text{ m}^2$	$S = 2\,256\,875\text{ m}^2$
S = 2 453 ha	S = 765 ha	S = 226 ha

Od zasiahnutej plochy koncentráciou ERPG – 2 je odpočítaná plocha s koncentráciou ERPG – 3 a od ERPG – 1 je odpočítaná plocha ERPG – 2. V nasledujúcej tabuľke sa nachádzajú podrobnejšie informácie o zasiahnutej oblasti.

Tabuľka č. 20: ALOHA – zóna ohrozenia pri úniku amoniaku pri teplote 20 °C

	ERPG – 1 25 ppm	ERPG – 2 150 ppm	ERPG – 3 750 ppm
Dosah mraku (km)	10	5,7	2,3
Zasiahnutá plocha (ha)	1 688	539	226
Hustota zaľudnenia Košice (počet osôb / ha)	160	160	160
Počet ohrozených osôb	n / a	n / a	36 160
Hustota zaľudnenia Prešov (počet osôb / ha)	90	90	90
Počet ohrozených osôb	n / a	n / a	20 340

8.4. ALOHA - únik amoniaku pri teplote -3°C

Vstupné údaje: rýchlosť vetra 2,1 metra za sekundu, teplota vzduchu -3°C, relatívna vlhkosť 75%, trieda stability C, objem cisterny 93,3 metrov kubických, cisterna je naplnená na 83%, trhlina je vo výške 0,99 m a má priemer 7,5 cm. Podrobnejšie údaje sa nachádzajú v prílohe č.4.

Výpočet zasiahnutej plochy: $S = \pi \cdot a \cdot b$ pre únik amoniaku pri teplote -3°C .

ERPG -1	ERPG – 2	ERPG – 3
a = 1250 m	a = 781,25 m	a = 562,5 m
b = 5 000 m	b = 2 250 m	b = 850 m
$\pi = 3,14$	$\pi = 3,14$	$\pi = 3,14$
$S = 19\,625\,000\text{ m}^2$	$S = 5\,519\,531\text{ m}^2$	$S = 1\,501\,313\text{ m}^2$
S = 1 963 ha	S = 552 ha	S = 150 ha

Od zasiahnutej plochy koncentráciou ERPG – 2 je odpočítaná plocha s koncentráciou ERPG – 3 a od ERPG – 1 je odpočítaná plocha ERPG – 2. V nasledujúcej tabuľke sa nachádzajú podrobnejšie informácie o zasiahnutej oblasti.

Tabuľka č. 21: ALOHA – zóna ohrozenia pre úniku amoniaku pri teplote -3°C

	ERPG – 1 25 ppm	ERPG – 2 150 ppm	ERPG – 3 750 ppm
Dosah mraku (km)	10	4,5	1,7
Zasiahnutá plocha (ha)	1 411	402	150
Hustota zaľudnenia Košice (počet osôb / ha)	160	160	160
Počet ohrozených osôb	n / a	n / a	24 000
Hustota zaľudnenia Prešov (počet osôb / ha)	90	90	90
Počet ohrozených osôb	n / a	n / a	13 500

8.5. ALOHA - únik acetónu pri teplote 20°C a pri teplote -3°C

Vstupné údaje: rýchlosť vetra 2,1 metra za sekundu, teplota vzduchu 20°C , relatívna vlhkosť 62%, trieda stability C, objem cisterny 63 metrov kubických, cisterna je naplnená na 94%, trhlina je vo výške 0,92 m a má priemer 7,5 cm. Podrobnejšie údaje sa nachádzajú v prílohe č.5. Pri acetóne budeme monitorovať len zónu možného vzplanutia mraku pár acetónu a silu zdroja. Pre teplotu -3°C zóna možného vzplanutia nie je určená pre nízke koncentrácie.

Medzné koncentrácie použité v prílohách č. 3 – 5 vyjadrujú:

ERPG (Emergency Response Planning Guideline)

ERPG – 3: Maximálna vzdušná koncentrácia, pod ktorou sa predpokladá, že takmer všetky osoby môžu byť exponované po dobu do 1 hodiny bez spôsobenia alebo vyvolania život ohrozujúcich zdravotných ťažkostí.

ERPG – 2: Maximálna vzdušná koncentrácia, pod ktorou sa predpokladá, že takmer všetky osoby môžu byť exponované po dobu do 1 hodiny bez spôsobenia alebo vyvolania nezvratných alebo iných vážnych zdravotných ťažkostí alebo symptómov, ktoré môžu u jednotlivcov znížiť schopnosť obranných reakcií.

ERPG – 1: Maximálna vzdušná koncentrácia, pod ktorou sa predpokladá, že takmer všetky osoby môžu byť exponované po dobu do 1 hodiny bez spôsobenia alebo vyvolania iných než miernych, krátkodobých, nežiadúcich zdravotných ťažkostí alebo bez pociťovania jasne definovaného zápachu.

TEEL (Temporary Emergency Exposure Limits) – hodnoty platné dočasne, po dobu kým nebudú stanovené hodnoty ERPG, ktoré sú presnejšie. Hodnoty TEEL nie sú vzťahnuté na časový limit 1 hodina. [6]

9. Záver

Pri výbere závažných úsekov trasy Košice – Sabinov bolo zistené, že medzné hodnoty pre individuálne a spoločenské riziko neboli prekročené. Avšak treba pripomenúť, že medzné hodnoty vychádzajú z Holandskej metodiky QRA čiže hodnoty sú konfigurované na podmienky Holandských železníc.

Frekvencia havárie na danom úseku bola stanovená na hodnotu $5,4 \cdot 10^{-5}$ cisterna / rok. Pravdepodobnosť havárie vo vybranom mieste v Košiciach s únikom > 100 kg pre pretlakovú cisternu je $1,3 \cdot 10^{-10}$ cisterna / rok a pre atmosférickú cisternu je $2,52 \cdot 10^{-8}$ cisterna / rok. Tieto hodnoty sú rovnaké aj pre vybrané miesto v Prešove.

Pri výbere významných zdrojov rizík metódou ARAMIS boli prekročené medzné hodnoty pre vlakové cisterny prevážajúce amoniak, acetón a benzín. Vzhľadom na nízke frekvencie nebezpečných prejavov sa pre každý prípad posudzovanej kritickej udalosti, dostávame do zóny zanedbateľného dopadu. Zostavením bow – tie sme získali prehľad možných porúch vedúcich k havárii a možných následných udalostí.

Na konci práce sme pomocou programu ALOHA získali zóny šírenia toxického mraku pre únik amoniaku a zóna možného vzplanutia mraku pár acetónu, čím sme získali ucelenejší obraz o rizikách v okolí trate. Pri úniku amoniaku pri teplote 20°C toxický mrak o zraňujúcej koncentrácii ERPG-3 750 ppm zasiahne 150 ha. Počet ohrozených osôb v meste Košice dosiahne 36 160 a v Prešove 20 340. Pri teplote 3°C to bude 24 000 osôb pre Košice a 13 500 osôb pre Prešov. Dosah toxického mraku pri teplote -3°C bude 1,7 km a pri 20°C 2,3 km. Môžeme predpokladať, že tieto dosahy sú približne rovnaké po celej dĺžke zastavaného nami posudzovaného úseku trate. Program ALOHA môžeme považovať za nenáročný pre používateľa, po získaní vstupných údajov a minimálnej praxi. Dostávame nástroj ktorý v rámci niekoľkých minút poskytne obraz o vývoji závažnej havárie.

Celkovo môžeme konštatovať, že spoločenské riziko prepravy amoniaku a acetónu na vybranom úseku trate bolo vyhodnotené ako prijateľné. Prijateľné riziko je dané predovšetkým nízkou frekvenciou závažnej havárie, avšak následky takejto havárie môžu spôsobiť vysoký počet zranení. Preto je potrebné sa ďalej zaoberať hodnotením rizík prepravy nebezpečných látok.

Zoznam použitej literatúry

- [1] BERNATÍK, A. *Prevenca závažných havárií I a II*, Ostrava: SPBI, 2006
- [2] *Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the context of the SEVESO II directive*, Project under the 5th framework programme,
Number: EVG1- CT-2001-00036
- [3] *Guideline for quantitative risk assessment " Purple book" CPR18E*
- [4] *Vyhláška Ministerstva životného prostredia SR číslo 489 z 8. júla 2002 ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o prevencii závažných priemyselných havárií a o zmene a doplnení niektorých zákonov*, čiastka 187, Zbierka zákonov, 2002
- [5] URL: <<http://actamont.tuke.sk/pdf/2007/s3/21kuzevicovakozakova.pdf>> [cit. 2008-04-02]
- [6] URL: <<http://aristatek.com/Newsletter/02%2010%20October/Technical20Dialogue.htm>>
[cit. 2008-03-12]
- [7] URL: <<http://cep.mdcz.cz/dok2/DokPub/dok.asp>> [cit. 2008-04-02]
- [8] URL: <<http://en.wikipedia.org>> [cit. 2008-02-08]
- [9] URL: <<http://www.epa.gov/emergencies/content/cameo/aloha.htm>> ALOHA Ver. 5.4.1.
[cit. 2008-02-08]
- [10] URL: <http://fpedas.utc.sk/~kzd/kpzzu/ZSR_v_kocke.htm> [cit. 2008-04-02]
- [11] URL: <http://www.messer.sk/Bezpecnostne_listy/cpavok-novaky.pdf> [cit. 2008-02-08]
- [12] URL: <<http://www.minotrural.org /Docs/NTSB%20Report.pdf>> [cit. 2008-02-19]
- [13] URL: <<http://shmu.sk>> [cit. 2008-04-09]
- [14] URL: <<http://tsb.gc.ca/en/reports/rail/1999/r99t0256/r99t0256.asp>> [cit. 2008-02-19]
- [15] URL: <<http://www.zscargo.sk/sk/on-line-sluzby/katalog-nakladnych-voznov/>>
[cit. 2008-03-18]
- [16] URL: <<http://www.zsr.sk/docs//vyrSpravy/vyrSprava2006.pdf>> [cit. 2008-03-18]

Prílohy

Príloha č. 1: Bow – tie diagram pre trhlinu (\varnothing 7,5 cm) v pretlakovej nádrži obsahujúcej amoniak.

Príloha č. 2: Bow – tie diagram pre trhlinu (\varnothing 7,5 cm) v atmosférickej nádrži obsahujúcej acetón.

Príloha č. 3: Vstupné a výstupné údaje programu ALOHA pre únik amoniaku v miestach Košice a Prešov pri vonkajšej teplote 20°C.

Príloha č. 4: Vstupné a výstupné údaje programu ALOHA pre únik amoniaku v miestach Košice a Prešov pri vonkajšej teplote -3°C.

Príloha č. 5: Vstupné a výstupné údaje programu ALOHA pre únik acetónu v miestach Košice a Prešov pri vonkajšej teplote 20°C a -3°C.

Príloha č. 3:
Vstupné a výstupné údaje programu ALOHA pre únik amoniaku
v miestach Košice a Prešov pri vonkajšej teplote 20°C

Príloha č. 4:
Vstupné a výstupné údaje programu ALOHA pre únik amoniaku
v miestach Košice a Prešov pri vonkajšej teplote - 3°C

Príloha č. 5:
Vstupné a výstupné údaje programu ALOHA pre únik acetónu v miestach
Košice a Prešov pri vonkajšej teplote 20°C a – 3 °C